Vienne, qui encore en 1895, dans une classification qui est adoptée par beaucoup d'auteurs, range la pierre de Renazzo dans une série dite *Schwarze Chondrit,* avec des Météorites comme Farmington (1890), Mac Kinney (1870), Bishunpur (1895), etc., qui ne lui ressemblent pas du tout [1].

C'est probablement en vertu d'une circonstance tout à fait fortuite que la Météorite de Vigarano, sensiblement identique à celle de Renazzo, est tombée presque exactement au même lieu, tout près de Ferrare, à soixante-seize années de distance. Remarquons seulement qu'une singularité du même ordre se reproduit à l'égard d'un type lithologique tout aussi exceptionnel auquel j'ai donné en 1881 le nom de *Banjite.* Nous ne connaissons que trois Météorites se rangeant dans ce type, et sur ce nombre il y en a deux qui sont tombées dans le minuscule pays de Serbie : l'une, celle de Soko Banja, le 13 octobre 1872, par 43° 41′ N. et 21° 34′ E.; l'autre, celle de Jelica, 17 ans plus tard, le 1er décembre 1889, par 43° 54′ N. et 20° 21′ E. La ressemblance de l'une à l'autre est si intime qu'il ne faudrait pas mélanger inconsidérément les échantillons qui les concernent l'une et l'autre. Ajoutons que, dans son travail de 1895, M. Brezina, déjà nommé, a placé ces deux pierres en deux types différents : la première dans les *Kugel-Chondrit,* avec Montrejeau (1858), Motta dei Conti (1868) et Tieschitz (1878), qui en diffèrent profondément, et l'autre dans un type dit *Amphotérite,* où les Chondres manqueraient!

Sans tirer de conclusions de cette singulière distribution géographique, on peut remarquer encore que pour des catégories beaucoup moins bien définies, et dès lors comprenant beaucoup plus de termes, on a cru observer une sélection comparable. C'est ainsi que le territoire des États-Unis s'est signalé par le grand nombre relatif de blocs de fer météoriques recueillis à sa surface, et qu'au contraire les Météorites pierreuses paraissent tomber avec une certaine prédilection dans les Indes anglaises. Ces particularités sont de la même nature et peut-être de la même valeur que celles qu'on a cru reconnaître pour la distribution soit d'après les saisons de l'année, soit d'après les heures du nycthéméron.

Sur l'efficacité orogénique des tremblements de terre,

par M. le Professeur Stanislas Meunier.

Les escarpements des montagnes sont unanimes à proclamer le rôle prépondérant des géoclases, ou failles à rejet, dans le phénomène orogénique, et il est impossible de concevoir l'intervention nécessaire de ces grandes

[1] Brezina, *Annalen des K. K. Naturhistorischen Hofmuseums,* X. Cahiers 3 et 4, 1895; Vienne.

cassures du sol sans reconnaître que la surrection d'une chaîne suppose la succession d'innombrables séismes. «On peut, suivant M. de Montessus de Ballore [1], dire que toute faille ou fracture est le témoin d'un tremblement de terre fossile.»

Cependant le cas ordinaire, c'est qu'à la suite des plus désastreuses secousses, comme celle de Messine en 1908, on ne peut constater aucune modification persistante de la surface du sol; quand on en croit reconnaître, comme à Néo (Japon) en 1891, dans l'Assam (Inde) en 1897, ou à San Francisco en 1906, on est frappé de l'insignifiance de ces inégalités de terrain et on constate qu'elles disparaissent si rapidement sous les effets de l'intempérisme, qu'il faut se résoudre à les attribuer à de simples glissements de masses superficielles : espèces de petits écroulements de l'édifice naturel, comparables à la destruction de nos cités.

Il ne faut donc pas s'étonner que des géologues, et des plus compétents, comme Fouqué, aient dénié toute efficacité orogénique aux tremblements de terre, même les plus violents. «Je ne crains pas, dit-il [2], de considérer comme controuvés tous les récits dans lesquels on a fait mention de la formation de fentes avec dérangement inégal et notable des assises du sol dans le sens vertical et où l'on n'a vu, dans les modifications toujours minimes de la surface, que l'indication d'un trouble beaucoup plus marqué dans la disposition des masses profondes de l'écorce terrestre.»

Cela posé, il semble y avoir contradiction entre l'enseignement procuré par la structure des montagnes et l'observation des phénomènes contemporains. Or il me paraît intéressant de faire remarquer que cette contradiction n'est qu'apparente et qu'elle tient aux mêmes conditions générales qui, déjà tant de fois, ont conduit à tracer entre le passé et le présent géologiques des lignes de démarcation aussi vraisemblables à première vue qu'elles sont illégitimes en réalité.

Il ne faut pas oublier tout d'abord que le centre d'ébranlement séismique, — qui n'est d'ailleurs pas un point, mais un espace souvent très large, — se trouve, de l'avis de tout le monde, à une grande profondeur au-dessous de la surface du sol. M. de Montessus de Ballore [3] a insisté sur la difficulté d'obtenir la mesure précise de cette profondeur et sur le peu de confiance à accorder aux résultats obtenus. Cependant on ne peut douter qu'il ne s'agisse, au moins le plus souvent, de 10 à 20 ou 25 kilomètres.

D'autre part, on ne peut douter que les ondes mécaniques émises par le centre séismique n'éprouvent en s'éloignant de celui-ci un affaiblissement comparable à celui qui concerne les ondes calorifiques qui les accompagnent. Sans doute il serait sans intérêt de chercher à évaluer la loi de cette atténuation progressive : l'indéfinie hétérogénéité de la croûte terrestre, la

(1) *La Science séismologique*, p. 416 (1 vol. in-8°, Paris, 1907).
(2) *Les Tremblements de terre*, p. 144 (1 vol. in-18, Paris, 1888).
(3) *Loc. cit.*, p. 106 et suiv.

compressibilité et la plasticité si inégales et souvent si notables de ses différentes parties, l'interposition des diastromes ou joints de stratification, des géoclases et des fissures ou vides de tous ordres, rendraient le résultat illusoire. Cependant il n'en est pas moins vrai que la modification topographique consécutive à l'ébranlement mécanique va en diminuant d'amplitude avec la distance, de façon à devenir sensiblement nulle au delà d'une zone dynamométamorphique comparativement étroite, — exactement comme la transformation minéralogique des roches influencées par l'échauffement va en s'atténuant à mesure qu'on s'éloigne du foyer, de façon à disparaître au delà d'une zone chimico-métamorphique dont la connaissance est classique.

Cette conséquence prend une valeur nouvelle quand on songe que le métamorphisme des sédiments a généralement pour effet une augmentation — et souvent notable — de leur compacité et de leur densité, c'est-à-dire une diminution de leur volume. Dans le cas le plus simple, les ondes mécaniques dirigées vers la surface du sol ont à traverser des formations sédimentaires de moins en moins âgées, de moins en moins cohérentes et, avant d'y parvenir, elles s'épuisent et perdent plus ou moins complètement leur pouvoir de déplacement.

À cet égard, on peut sortir du domaine de l'imagination pure et invoquer, à l'appui de la théorie, le témoignage de certains faits d'expérience. C'est ainsi que les résultats des coups de mines tirés dans des roches diverses sont d'application directe à notre sujet. On est surpris, même dans des roches très élastiques, comme le marbre dit *bâtard* du terrain Valangien (néocomien inférieur) de la Montagne de Parve (Ain), que j'ai étudié spécialement, de la faible distance où parviennent les écrasements et les glissements, ou si l'on aime mieux, de la rapidité avec laquelle s'effacent les poussées mécaniques infligées aux fragments disjoints de la pierre.

Comme le montre une projection mise sous vos yeux, le fond du trou de mine est enveloppé d'une sorte de sphère de roche concassée, arrachée, refoulée dans des directions radiales; on y voit des rejets de dimension relativement notable et par conséquent les effets de compressions proportionnées. Mais, déjà à un très petit nombre de décimètres et bien que le sol ait pu trembler plus ou moins loin au moment de l'explosion, la secousse n'a laissé aucune trace persistante.

Les faits d'observation nous enseignent que le foyer séismique est normalement placé trop bas pour que les crevasses dont il a déterminé l'ouverture autour de lui aient pu se prolonger jusqu'à la surface du sol. Même, — et sauf dans quelques cas très particuliers comme le tremblement de 1906 à San-Francisco, — rechercher, comme on l'a fait quelquefois, si une faille superficielle a *joué* à la suite d'un séisme, c'est comme si, dans les mêmes conditions, on prétendait retrouver dans les roches de surface une augmentation de leurs caractères métamorphiques. D'autant plus qu'il n'est pas certain qu'avec des thermomètres suffisamment précis on ne verrait

pas sortir une poussée calorifique du sol en même temps que se manifeste la vibration mécanique. En tout cas, si un tremblement de terre se fait sentir dans un pays déjà faillé, on peut être assuré que l'impulsion actuelle part de régions situées au-dessous de celles d'où émanèrent les forces qui ont donné lieu aux géoclases à rejets, maintenant superficielles; les failles visibles ne sont que des failles décapées, c'est-à-dire dépouillées de ce qui les recouvrait lors de leur origine. Ce n'est qu'exceptionnellement que la surface du sol se fend pendant les séismes, et les fissures produites ne sont pas à proprement parler des géoclases, mais de simples contre-coups de celles-ci.

On peut même à cette occasion ajouter une remarque relative à l'âge des failles. D'après les faits d'observation contemporaine, les failles d'une époque donnée ne paraissent pas traverser les sédiments superficiels de cette même époque. Si on les observe plus tard sur des coupes convenablement dirigées, ces accidents tectoniques doivent nécessairement sembler antérieurs à leur âge véritable.

Ajoutons que la diminution de volume des masses rocheuses souterraines soumises au métamorphisme orogénique doit nous faire prévoir dans les profondeurs une tendance à l'affaissement. Celui-ci se réalise avec la lenteur bien des fois séculaire qui fait l'allure de tous les grands phénomènes, — même quand ils aboutissent à un moment de paroxysme, — et paraît fournir une explication acceptable du moteur qui détermine les charriages, à longues distances, de paquets sédimentaires gigantesques et dont la conception est, autrement, si malaisée à admettre.

Le poids des sédiments superposés aux géoclases orogéniques ordinairement si fortement inclinées sur l'horizon doit engendrer, selon le plan de celles-ci, une réaction mécanique capable de séparer les paquets sédimentaires de leurs racines et d'exercer sur eux le mécanisme auquel le Dr Hans Schardt a si pittoresquement comparé le glissement d'un *noyau de cerise* convenablement pressé entre le pouce et l'index. Avec des dispositions souterraines faciles à imaginer, cette translation en profondeur peut se continuer très loin et très longtemps. On expliquera facilement de cette manière le transport des nappes de charriage, dinariques et autres, si lumineusement décrit par M. Pierre Termier et par d'autres géologues.

Mais tout cela suppose une réaction entièrement souterraine et même très profonde; il est donc nécessaire d'expliquer comment à sa suite se manifeste la forme caractéristique des chaînes de montagnes. Peut-être trouverons-nous des localités mettant sous nos yeux certaines des étapes principales de ces phénomènes grandioses, grâce à l'intervention, après les séismes, de ces mouvements verticaux de grande lenteur, mais de grande amplitude, auxquels Élie de Beaumont a imposé la dénomination heureusement trouvée de bossellements généraux.

Le plateau de l'Asie centrale est à citer à cet égard : ce *Toit du Monde,* malgré son altitude exceptionnelle de 6.000 mètres et plus, offre à notre

observation des assises sédimentaires relativement peu anciennes et qui n'ont point éprouvé les effets calorifiques et dynamiques dont témoignent si ordinairement les éléments nécessairement métamorphiques des montagnes proprement dites.

Le Muséum est particulièrement très documenté en ce qui concerne cette région, possédant la précieuse collection des spécimens recueillis en janvier 1890 par M. Bonvalot et le prince Henri d'Orléans lors de leur mémorable traversée du Thibet. À 5,800 mètres au-dessus du niveau de la mer, dans la zone qu'ils ont qualifiée de Monts Dupleix, ces héroïques explorateurs ont rencontré des assises comprenant presque exclusivement des grès et des calcaires et, parmi ces derniers, des niveaux éminemment remarquables par les coquilles fossiles qui y sont renfermées.

À la réception de ces spécimens dont nous projetons sur l'écran une photographie et une coupe microscopique, je priai mon regretté ami le Dr Paul Fischer de faire connaître son avis quant à ces précieux vestiges. Il me remit en réponse une note qui a été publiée dans le volume de M. Bonvalot et que je transcris ici littéralement : «Les fossiles disséminés dans les calcaires, dit le savant paléontologiste, se réduisent à quatre espèces appartenant aux genres : *Ostrea* (*Gryphæa*), voisine d'*O. Knorri*; *Mytilus*, indéterminé; *Rhynchonella*, voisine de *R. tetrahedra*; *Pecten*, voisin de *P. disciformis*. Je n'ose risquer aucune détermination sur des matériaux aussi insuffisants. Tout ce que l'on peut dire, c'est qu'ils proviennent certainement de terrains secondaires; mais je ne puis affirmer qu'ils soient jurassiques plutôt que crétacés. Je penche plutôt pour le lias supérieur, d'après l'association des formes indiquées ci-dessus.»

D'après la description de M. Bonvalot [1], les hauts plateaux du Thibet sont fortement accidentés. À 5,800 mètres, localité fossilifère, on se trouve dans une passe dominée de 2,000 mètres par les Monts Dupleix; mais il semble que les inégalités du sol n'ont rien à voir comme cause déterminante avec les refoulements orogéniques; il est certain en effet que si les couches avaient été fortement comprimées, elles auraient du même coup acquis un métamorphisme qu'elles ne présentent pas et qui est si accentué par exemple dans le lias alpin.

Aussi l'impression qui résulte pour moi des descriptions du *Toit du Monde* et de la vue des échantillons qui en proviennent, c'est que cette région représente comme l'écorce non métamorphisée, quoique fortement soulevée, d'un massif montagneux qui s'est constitué en profondeur par voie de refoulements par en dessous (*Unterschiebung*), à la faveur de séries de séismes. Pour que la chaîne de montagnes ainsi produite apparaisse au jour avec la totalité des traits qui caractérisent l'Himalaya ou les Alpes, il faut qu'elle soit totalement débarrassée de sa couverture, par un véritable épluchage.

[1] *Loc. cit.*, p. 213 et suiv.

Celui-ci résultera de la pluie et des autres facteurs de l'intempérisme qui sont déjà si énergiquement à l'œuvre à sa surface. Il faut lire le tableau que nous fait M. Bonvalot de l'intensité de l'érosion sur le plateau thibétain : «Après, dit-il, que la neige sera tombée dans les mois qui suivront, et que l'été sera venu, le soleil fondra ces *conserves* prodigieuses d'eau, et ce sera aux alentours de la chaîne Dupleix une débâcle de fin du monde. Une inondation diluvienne déposera des lacs sur les hauts plateaux, les traversera de rivières, qui entraîneront les boues épaisses et laisseront aux flancs des collines et dans les anses les débris des hauteurs. Ces dépôts restent là jusqu'à l'été suivant, car l'hiver arrête le cours des fleuves. Puis la chaleur du soleil agit; elle liquéfie les masses solidifiées; celles-ci s'ébranlent, coulent, s'emportent, reprennent les dépôts où elles les ont laissés à l'entrée de l'hiver et les enlèvent. D'année en année, d'étape par étape, elles finissent par les charrier toujours plus bas, sans cesse obstruant les vallées, élargissant les gorges, déviant les fleuves, étalant les deltas, comme si une volonté supérieure avait ordonné : «Vous, les eaux, de concert «avec les vents et le froid, démolirez la montagne et nivellerez la terre.»

Donc, grâce à la persistance des conditions du régime continental, qui nous est ici décrit de si puissante manière, les masses superficielles seront successivement démantelées, puis supprimées, et le massif orogénique refoulé et métamorphique se dégagera comme le produit d'une gestation occulte et d'une véritable déhiscence de ses enveloppes protectrices. À cet égard, nous projetons sur l'écran un croquis très habilement dessiné par M. Pierre Embry, attaché à mon laboratoire, et qui nous fait assister à la constitution des chaînes par la suppression nécessaire des portions superficielles d'un pays dont le sous-sol a été refoulé par des séismes.

D'ailleurs les observateurs sont d'accord pour voir avant tout dans nos grandes chaînes, Alpes, Pyrénées, Caucase, Himalaya, des résidus d'érosion pluviaire. On est allé quelquefois jusqu'à dire que les Alpes ont dû perdre de cette manière autant de matière qu'elles en ont conservé. C'est au cours de cette perte qu'elles sont devenues peu à peu de vraies montagnes et qu'elles ont apparu au jour comme les «ossements composant le squelette de la terre» suivant une comparaison restée célèbre.

Et c'est ainsi que, suivant nous, le tremblement de terre est la cause efficiente des montagnes qui, une fois édifiées par lui dans les profondeurs de la croûte du globe, sont mises progressivement à découvert, en attendant qu'elles soient ultérieurement supprimées par le jeu des actions externes telles que la pluie et l'Océan. Exemple remarquable par ses dimensions et par le contraste complet entre ses différentes phases, de ces cycles innombrables dont l'ensemble constitue toute la physiologie de la terre.
